

RESPON HIDROLOGI AKIBAT PENERAPAN POLA AGROFORESTRI PADA PENGGUNAAN LAHAN YANG TIDAK SESUAI KESESUAIAN LAHAN (STUDI KASUS DI DAS CIMUNTUR)

(Hydrological Responses of Agroforestry System Application which is Not Based on Land Suitability, A Case Study in Cimuntur Watershed)

Edy Junaidi,^{1*} dan Yonky Indrajaya²

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Kualitas dan Laboratorium Lingkungan
Puspatek Gedung 210, Kawasan Puspatek, Serpong, Tangerang, Indonesia
Telp. +62 217563114; Faks. +62 217563115

²Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Agroforestry
Jl. Raya Ciamis-Banjar KM. 4, Po. BOX. 5 Kode Pos 46201, Ciamis, Jawa Barat, Indonesia
Telp. +62 265771352; Faks. +62 265775866

Article Info

Article History:

Received 17 March 2017;
received in revised form
08 January 2018;
accepted 9 January
2018.
Available online since
27 March 2018

Kata kunci:

Respon hidrologi,
Agroforestri,
Kesesuaian penggunaan
lahan

Keywords:

Hydrological response,
Agroforestry,
Land use suitability

ABSTRAK

Pemanfaatan lahan dalam suatu DAS seharusnya mempertimbangkan kemampuan lahan dan daya dukung DAS sehingga lahan dapat dimanfaatkan secara optimal. Agroforestri merupakan salah satu sistem pengelolaan lahan yang mempunyai manfaat menjaga fungsi lingkungan serta meningkatkan pendapatan masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penerapan sistem agroforestri pada beberapa pola penggunaan lahan yang telah beralih fungsi peruntukannya, dengan menilai respon hidrologi DAS. Ada tiga tahapan kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu (1) Penilaian kondisi penggunaan lahan dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW), (2) penentuan kesesuaian lahan dengan pola agroforestri dan (3) penataan ruang kesesuaian pola agroforestri ditinjau dari respon hidrologinya. Hasil analisis menunjukkan penerapan pola agroforestri yang terdiri dari tanaman kayu-kayuan (sengon), tanaman buah (rambutan), tanaman perkebunan (cengkih, kelapa, petai, pisang), tanaman bawah tahunan (kapulaga dan pisang), dan tanaman bawah semusim (singkong), pada penggunaan lahan yang tidak sesuai peruntukannya memberikan nilai Koefisien Rejim Sungai (KRS), debit spesifik, Koefisien Aliran Permukaan (C) dan konsentrasi sediment terlarut (TDS) paling rendah dibandingkan pola lain. Pola agroforestri ini dapat dipertimbangkan untuk diterapkan pada pola penggunaan lahan yang telah beralih fungsi, karena mampu memperbaiki fungsi lingkungan dan mampu meningkatkan pendapatan masyarakat.

ABSTRACT

Land use in a watershed should consider land capability and watershed carrying capacity so that the land can optimally. Agroforestry is a land use system that not only aims to generate income for the people but also to maintain hydrological conditions of a watershed. This research aims to evaluate the hydrological responses due to the application of agroforestry system on several land use pattern that has been changed. There are three steps in the analysis: (1) Assessment on land use planning (RTRW), (2) Land use suitability classification for agroforestry system, and (3) Development of scenarios for suitable land use of agroforestry system for hydrological function. The results of this study show that the application of agroforestry system of woody plant (i.e. sengon), fruit plant (i.e. *Nephelium lappaceum*), annual crops (i.e. clove, coconut, *Parkia speciosa* and banana), perennial crops (i.e. cardamom, and banana), and seasonal crops (i.e. cassava) on unsuitable land use gives the lowers on Coefficient of River Regime (KRS), specific discharge, Run off Coefficient (C) and Total Dissolve Sediment (TDS). This agroforestry system can be applied on several land use pattern that has been changed, because this system not only aims to generate income for the people but also to the maintain hydrological condition of a watershed.

* Corresponding author. Tel.: +62 82124372714
E-mail address: edy_jun2003@yahoo.com (E. Junaidi)

I. PENDAHULUAN

Tingkat kerusakan Daerah Aliran Sungai (DAS) di Indonesia dalam 2 (dua) dekade terakhir semakin meningkat. Pada tahun 1984, terdapat 22 DAS kritis, kemudian meningkat menjadi 39 pada tahun 1992, 59 pada tahun 1998. Tahun 2003, jumlah DAS kritis sudah mencapai 62 (Suradiputra *et al.*, 2005; Junaidi, 2009). Berdasarkan Surat Keputusan Kementerian Kehutanan (2009), jumlah DAS prioritas meningkat menjadi 108 DAS. Penyebab utama peningkatan kerusakan DAS, salah satunya adalah penyimpangan pemanfaatan penggunaan lahan (Emilda, 2010; Susetyaningsih, 2012). Perkembangan penduduk yang cepat pada suatu DAS akan berakibat kepada intensitas kebutuhan lahan yang semakin tinggi untuk pemenuhan kebutuhan pangan. Hal ini akan berakibat penggunaan lahan akan cenderung lebih memperhatikan faktor peningkatan produksi daripada faktor lingkungan (Bahrun, 2012). Penggunaan lahan yang kurang bijaksana oleh penduduk pada DAS akan mempercepat proses kerusakan lingkungan DAS, berupa terganggunya fungsi hidrologi yang mengakibatkan sering terjadinya banjir, kekeringan dan sedimentasi (Chu *et al.*, 2013; Mahmoud & Alazba, 2015). Untuk mengurangi permasalahan tersebut, pengelolaan penggunaan lahan pada DAS harus memperhatikan kondisi sosial (Abbas *et al.*, 2015; Bajocco *et al.*, 2012; Ragosta *et al.*, 2010).

Pengelolaan lahan pada DAS seharusnya dilakukan secara berkelanjutan, dengan memperhatikan kemampuan dan daya dukung lahan. Pada dasarnya, pengelolaan lahan berkelanjutan merupakan upaya untuk mengelola sumberdaya lahan dalam jangka panjang tanpa merusak sumberdaya lahan dan terus mempertahankan fungsi lingkungan (Wibawa, 2010). Wood and Mayer (2006) mengemukakan bahwa pengelolaan lahan berkelanjutan memfokuskan pada pemanfaatan fungsi lingkungan secara optimal untuk kepentingan masyarakat.

Agroforestri merupakan suatu bentuk penggunaan lahan dengan mengasosiasikan pohon dengan tanaman semusim pada satu unit lahan untuk meningkatkan, menganekaragamkan, dan menjaga keberlanjutan keuntungan dan juga untuk preservasi lingkungan (Atangana *et al.*, 2014b). Dalam preservasi lingkungan, agroforestri dapat berperan sebagai pengatur tata air, mengurangi erosi tanah, keanekaragaman hayati, dan penyerapan karbon (Atangana *et al.*, 2014a; Smith *et al.*, 2013). Penelitian di Amerika Serikat menunjukkan bahwa agroforestri dapat menurunkan laju aliran permukaan hingga 26% (Udawatta *et al.*, 2015). Sementara itu, penelitian lain menggunakan model APEX (*Agricultural*

Policy Environmental Extender) menunjukkan bahwa sistem agroforestri dapat menurunkan aliran permukaan hingga 5,2% (Senaviratne *et al.*, 2013). Di Indonesia, Junaidi (2013) melaporkan bahwa sistem penggunaan lahan agroforestri, mempunyai kemampuan dalam mempertahankan fungsi hidrologis DAS, menyerupai kemampuan sistem penggunaan lahan hutan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji seberapa besar kemampuan agroforestri untuk mempertahankan fungsi lingkungan ditinjau dari respon hidrologi DAS, apabila diterapkan pada penggunaan lahan yang menyimpang terhadap fungsi tata ruang sehingga tidak sesuai dengan kemampuannya. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu acuan bagi pengambil kebijakan pengelola DAS, terutama dalam konteks pengelolaan lahan secara berkelanjutan.

II. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di DAS Cimuntur, Kabupaten Ciamis, Provinsi Jawa Barat pada bulan Maret – Agustus 2013. DAS Cimuntur secara geografis terletak pada 108°17'30"-108°34'0" BT dan 7°8'0"-7°19'0" LS (Gambar 1).

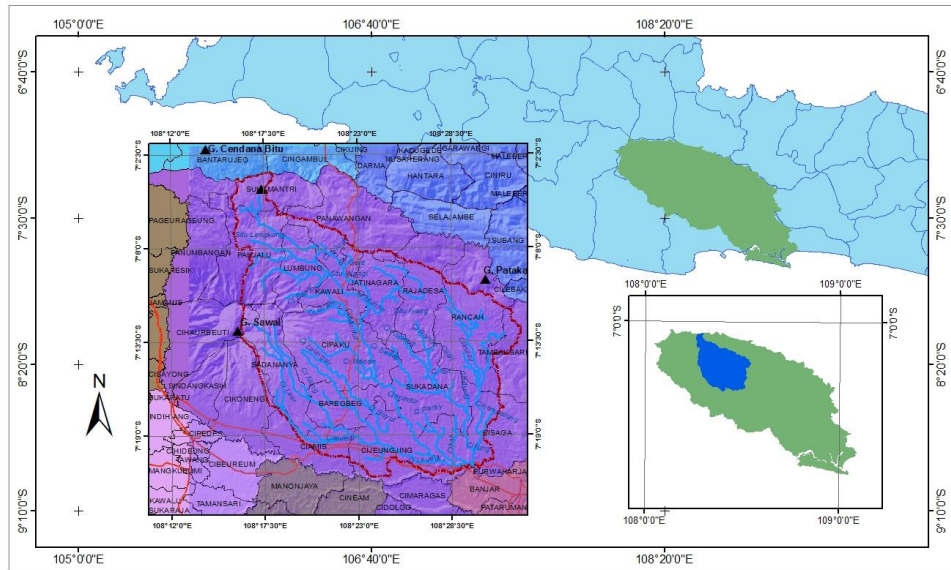
Berdasarkan penafsiran Citra Landsat tahun 2009 dan peta topografi skala 1 : 50.000, luas DAS Cimuntur adalah 617,78 ha, sedangkan panjang sungai utama adalah 2.938,55 m. Terdapat tiga sungai besar di DAS Cimuntur, yaitu Sungai Cimuntur, Sungai Cileueur dan Sungai Ciliung. Nilai kerapatan drainase DAS Cimuntur yaitu $\pm 0,58$ berada pada kisaran agak tinggi. Bentuk DAS Cimuntur yang mempunyai rata-rata lereng pada kisaran agak tinggi (29,38%) yaitu agak bulat. Nilai rata-rata gradien sungai adalah 2,03%, berada pada kisaran tinggi.

Penggunaan lahan pada DAS Cimuntur, terdiri dari 10 kelas, yaitu: semak belukar, hutan lindung, hutan produksi, hutan produksi terbatas, pemukiman, perkebunan, tegalan, kebun campuran, sawah dan tubuh air (danau). Luas masing-masing penggunaan lahan dapat dilihat pada Tabel 1.

Penggunaan lahan terbesar di DAS Cimuntur, didominasi oleh kebun campuran (65,56% luas DAS) dan sawah (12,81%). Sedangkan luas lahan hutan yang terdapat pada DAS Cimuntur, sekitar 9,32% dari luas DAS. Sebaran spasial kelas penggunaan lahan pada DAS Cimuntur dapat dilihat pada Gambar 2.

B. Bahan dan Alat Penelitian

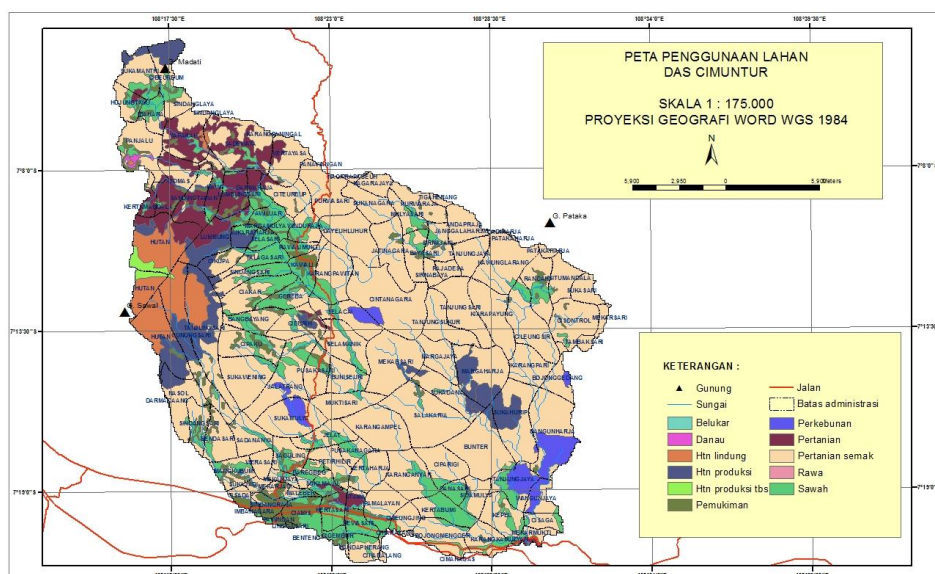
Bahan yang diperlukan dalam kegiatan penelitian ini adalah data primer dan sekunder, dengan jenis dan sumber data seperti disajikan pada Tabel 2.



Gambar 1. Lokasi penelitian di DAS Cimuntur
Figure 1. Research location of Cimuntur Watershed

Tabel 1. Luas masing-masing kelas penggunaan lahan yang ada di DAS Cimuntur
Table 1. The area of each land use class in Cimuntur Watershed

No.	Penggunaan lahan (Land use)	Luas (Area) (ha)	Persentase (Percentage) (%)
1	Semak belukar (<i>scrub</i>)	0,97	0,00
2	Hutan a. Lindung (<i>Protection Forest</i>)	2.358,69	3,82
	b. Produksi (<i>Production Forest</i>)	3.148,43	5,10
	c. Terbatas (<i>Limited production forest</i>)	244,57	0,40
3	Pemukiman (<i>Residential area</i>)	2.707,37	4,38
4	Perkebunan (<i>Plantation</i>)	1.264,89	2,05
5	Tegalan (<i>Dray land</i>)	3.571,61	5,78
6	Kebun campuran (<i>Mixed garden</i>)	40.503,53	65,56
7	Tubuh air (danau dan rawa) (<i>Water body</i>)	65,33	0,11
8	Sawah (<i>Paddy field</i>)	7.912,50	12,81
Total		61.777,89	100



Gambar 2. Peta sebaran spasial kelas penggunaan lahan di DAS Cimuntur
Figure 2. Spatial distribution of land use types in Cimuntur Watershed

Tabel 2. Jenis dan sumber data yang akan dikumpulkan

Table 2. Type and data source collected

Jenis data (<i>Date type</i>)	Sumber data (<i>Data source</i>)
I. Data primer (<i>Primary data</i>)	
1. Sifat tanah (fisika dan kimia)	Sampel lahan
2. Jenis tanaman penyusun	Sampel lahan
3. Karakteristik lahan (kelerengan, batuan singkapan)	Sampel lahan
4. Agroteknologi (Teknik Konservasi Tanah)	Sampel lahan
5. Karakteristik sungai	Sampel sungai
II. Data sekunder (<i>Secondary data</i>)	
1. Data iklim (curah hujan, temperatur, radiasi matahari dan kecepatan angin selama 5 tahun dari tahun 2005– 2009)	Balai Besar Wilayah sungai Citanduy dan Balai Pengelolaan Sumberdaya Air Citanduy
2. Peta dasar (RBI, penggunaan lahan tahun 2009, jenis tanah, RTRW kabupaten Ciamis tahun 2005 - 2015)	Bakosurtanal, BP DAS Cimanuk – Citanduy dan Dinas Ciptakarya Kabupaten Ciamis
3. Citra satelit (citra Landsat TM Tahun 2009 dan citra DEM)	BP DAS Cimanuk – Citanduy dan US Geological Survey
4. Data debit (selama 2 tahun untuk tahun 2009 dan 2010)	Balai Besar Wilayah sungai Citanduy
5. Data pendukung lainnya dan hasil penelitian terkait	

Peralatan yang diperlukan adalah computer dengan *software GIS*, SWAT 2009, GPS, alat pengambil sampel tanah dan alat tulis.

C. Rancangan Penelitian

Kerangka penelitian untuk mencapai tujuan penelitian dapat digambarkan seperti terlihat pada Gambar 3.

1. Penilaian kondisi penggunaan lahan yang menyimpang dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Ciamis

Penilaian kondisi penggunaan lahan yang menyimpang dengan mencocokkan kesesuaian penggunaan lahan tahun 2009 dengan RTRW pola ruang dengan menggunakan fungsi overlay tool *ArcGIS*. Penilaian kesesuaian dengan menggunakan skoring (nilai 1 – 3), yaitu jika sesuai dengan pola ruang RTRW diberi skor 1 dan jika tidak sesuai diberi skor 3.

2. Penentuan kesesuaian lahan untuk penerapan pola agroforestri

Penilaian kesesuaian lahan untuk penerapan pola agroforestri menggunakan modifikasi indikator kelas kesesuaian lahan untuk sistem agroforestri yang diterapkan di DAS Khlong Phu-Khlong Pook (Arifin, 2009), seperti disajikan pada Tabel 3.

Untuk mengetahui tingkat kesesuaian lahan untuk pola agroforestri menggunakan indeks kesesuaian lahan (Tabel 4.). Nilai indeks diperoleh dari *overlay* (tumpang susun) masing-masing peta tematik hasil pensekoran menurut Tabel 4.

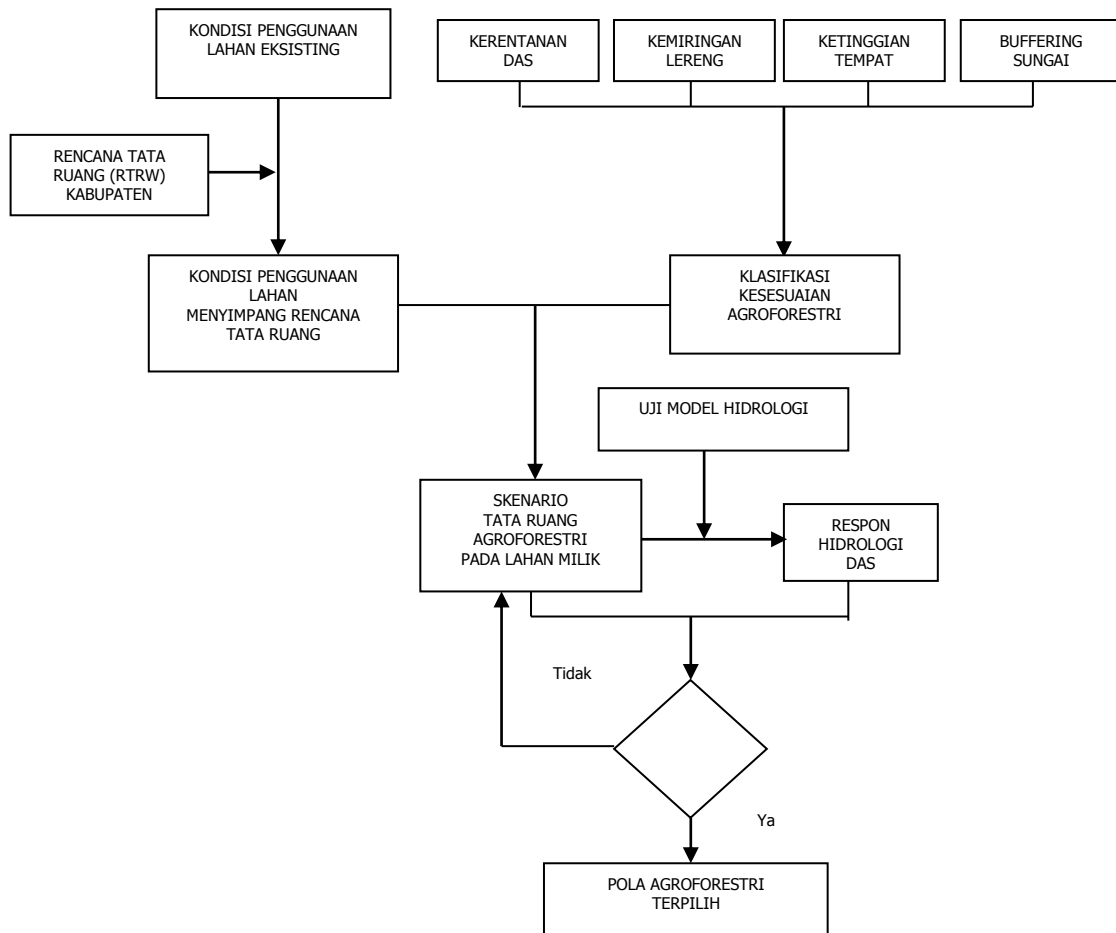
3. Penataan kesesuaian lahan untuk penerapan pola agroforestri ditinjau dari respon hidrologi

Penilaian kesesuaian lahan untuk penerapan beberapa pola agroforestri, dilakukan dengan menilai respon hidrologi menggunakan tool

model *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). SWAT merupakan model matematik berbasis fisik, yang dirancang sebagai model hidrologi spasial terdistribusi yang terintegrasi dengan GIS dan *Digital Elevation Model* (DEM) dengan tampilan antar muka pengguna secara grafis (GUI). Model ini berdasarkan *hydrologic respon units* (HRUs) yang dibentuk dari kombinasi tataguna lahan, jenis tanah dan topografi (Olivera *et al.*, 2006). Evaluasi operasionalisasinya berbasis pada skala waktu harian, dan mampu mensimulasi dan menduga dampak kegiatan-kegiatan praktik pengelolaan lahan jangka panjang (Arnold *et al.*, 2010; Douglas-Mankin *et al.*, 2010).

Pemilihan skenario pola agroforestri yang bersifat lokal spesifik didasarkan pada nilai ekonomi yang menguntungkan. Terdapat 3 (tiga) skenario pola agroforestri terpilih di DAS Cimuntur, sebagai berikut:

- Skenario 1, yaitu pola agroforestri yang terdiri dari tanaman kayu-kayuan (afrika, gmelina, mahoni, manglid, sengan dan suren), tanaman buah (manggis), tanaman perkebunan (kaka, pala dan kelapa), tanaman bawah tahunan (kapulaga dan pisang), dan tanaman bawah semusim (kacang tanah).
- Skenario 2, yaitu pola agroforestri yang terdiri dari tanaman kayu-kayuan (afrika, gmelina, manglid, sengan dan suren), tanaman buah (pisitan), tanaman perkebunan (manggis, kaka dan kelapa), tanaman bawah tahunan (kapulaga dan pisang), dan tanaman bawah semusim (singkong).
- Skenario 3, yaitu pola agroforestri yang terdiri dari tanaman kayu-kayuan (sengan), tanaman buah (rambutan), tanaman perkebunan (cengkih, kelapa, petai, pisang), tanaman bawah tahunan (kapulaga dan pisang), dan tanaman bawah semusim (singkong).



Gambar 3. Kerangka penelitian
Figure 3. Research framework

Tabel 3. Indikator penentuan kelas kesesuaian lahan untuk agroforestri

Table 3. Indicators of land suitability class for agroforestry

Indikator (Indicator)	Standar evaluasi (Evaluation standard)	Katogori (Category)	Skor (Score)
a. DAS (Tingkat kerentanan DAS ¹) (Watershed (watershed vulnerability rate ¹))	Tidak rentan	Rendah	1
	Sedikit rentan	Agak rendah	2
	Agak rentan	Sedang	3
	Rentan	Agak tinggi	4
	Sangat rentan	Tinggi	5
b. Lereng (%) (Slope)	> 35	Tinggi	5
	26 - 35	Agak tinggi	4
	16 - 25	Sedang	3
	5 - 15	Agak rendah	2
	< 5	rendah	1
c. Persentase elevasi(%) ² (Elevation percentage)	> 80	Tinggi	5
	80 - 60	Agak tinggi	4
	60 - 40	Sedang	3
	20 - 40	Agak rendah	2
	< 20	rendah	1
d. Jarak dari sungai (km) (Distance from river)	< 0,5	Tinggi	5
	0,5 - 1	Agak tinggi	4
	1,1 - 1.5	Sedang	3
	1,6 - 2	Agak rendah	2
	> 2	rendah	1

Keterangan:

1. Tingkat kerentanan DAS menggunakan kriteria dan indikator buku sidik cepat degradasi sub DAS (Paimin *et al.*, 2006)
2. Persentase elevasi menggunakan rumus = (elevasi daerah setempat/elevasi tertinggi) x 100%

Remarks:

1. Watershed vulnerability rate using criteria and indicator of Rapid Assessment of Watershed Degradation book (Paimin, *et al.*, 2006)
2. Percentage of elevation using formula = (elevation of certain location/highest elevations) x 100 %

Tabel 4. Indeks kesesuaian lahan untuk pola agroforestri

Table 4. Land suitability index for agroforestry

Kelas (Class)	Indeks (Index)	Kategori (Category)
1	> 3	Sesuai
2	2,6 - 3	Agak sesuai
3	2,1 - 2,5	Sedang
4	1,5 - 2,0	Agak tidak sesuai
5	<1,5	Tidak sesuai

D. Analisis Data

1. Pengujian model hidrologi

Kalibrasi dan validasi model bertujuan agar *output* model yang digunakan hasilnya mendekati dengan *output* dari DAS prototipe yang diuji. Luaran yang dikalibrasi atau divalidasi adalah hasil debit, dengan cara membandingkan antara hasil prediksi dengan hasil observasi (i.e. pengukuran debit di Stasiun Pengamat Arus Sungai /SPAS) dengan menggunakan kriteria statistik. Metode statistik yang digunakan adalah persentase perbedaan dari nilai observasi (Dv_i) (rumus 1) dan koefisien *Nash-Sutcliffe* (E_{ns}) (rumus 2) (Mathevet *et al.*, 2008), sebagai berikut:

$$Dv_i = \frac{Qm_i - Qs_i}{Qm_i} \times 100 \quad (1)$$

$$E_{ns} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Qs_i - Qm_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Qs_i - \bar{Qm}_i)^2} \quad (2)$$

Keterangan: (Dv_i) : Persentase *deviation* dari nilai observasi

(E_{ns}) : koefisien *Nash-Sutcliffe*

Qs_i : Nilai simulasi model

Qm_i : Nilai observasi

\bar{Qm}_i : Rata-rata nilai observasi

n : Jumlah data

Santhi *et al.* (2001) menyebutkan bahwa hasil simulasi dikriteriakan baik jika rata-rata debit hasil simulasi berada pada kisaran -15 % sampai + 15 % dari rata-rata debit hasil observasi, nilai (E_{ns}) $\geq 0,5$ dan $R^2 \geq 0,6$.

2. Penilaian penerapan beberapa skenario pola agroforestri ditinjau respon hidrologi

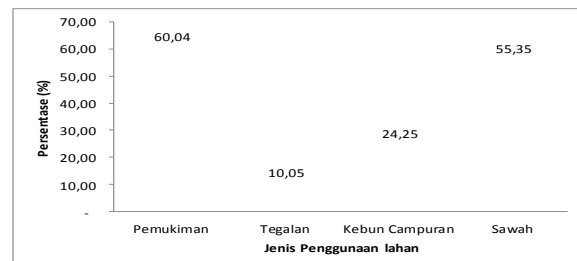
Penilaian dengan membandingkan hasil luaran penggunaan model hidrologi pada masing-masing skenario dengan menggunakan indikator tata air pada Tabel 5, yaitu: Koefisien Rejim Sungai (KRS), debit spesifik, koefisien aliran permukaan (C) dan semakin tinggi hasil skor dari masing-masing kegiatan menunjukkan skenario pola agroforestri kurang baik dalam menjaga kualitas tata air DAS.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penilaian Kondisi Penggunaan Lahan Menyimpang Tata Ruang

Hasil penilaian kondisi penggunaan lahan Tahun 2009 yang menyimpang dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Ciamis khususnya pola ruang dapat dilihat pada Tabel 6. Hasil menunjukkan sekitar 26,24 % dari luas total DAS, penggunaan lahan yang terdapat di DAS Cimuntur, menyimpang tata ruang. Sekitar 4 (empat) penggunaan lahan yang ada di DAS Cimuntur masuk pada katagori menyimpang tata ruang, yaitu penggunaan lahan kebun campuran, sawah, tegalan dan pemukiman.

Proporsi kelas penggunaan lahan terhadap luas total masing-masing kelas penggunaan lahan yang menyimpang tata ruang dapat dilihat pada Gambar 4. Kelas penggunaan lahan pemukiman merupakan penggunaan lahan terluas yang menyimpang tata ruang, diikuti kelas penggunaan lahan sawah, kebun campuran dan tegalan. Hasil kajian oleh Sanudin (2006) di Kabupaten Ciamis, menunjukkan bahwa penggunaan lahan sebagian besar sudah sesuai dengan rencana tata ruang kecuali terdapat penyimpangan fungsi penggunaan pada penggunaan lahan pertanian lahan basah (sawah) dan pemukiman.



Gambar 4. Proporsi kelas penggunaan lahan pada DAS Cimuntur yang menyimpang peruntukannya.

Figure 4. Proportion of land use class in Cimuntur Waterhed that is unsuitable with its allocation.

Peta lokasi sebaran penggunaan lahan yang menyimpang tata ruang dapat dilihat pada Gambar 5. Sebagian besar lokasi penggunaan lahan yang menyimpang tata ruang berada pada hulu DAS Cimuntur.

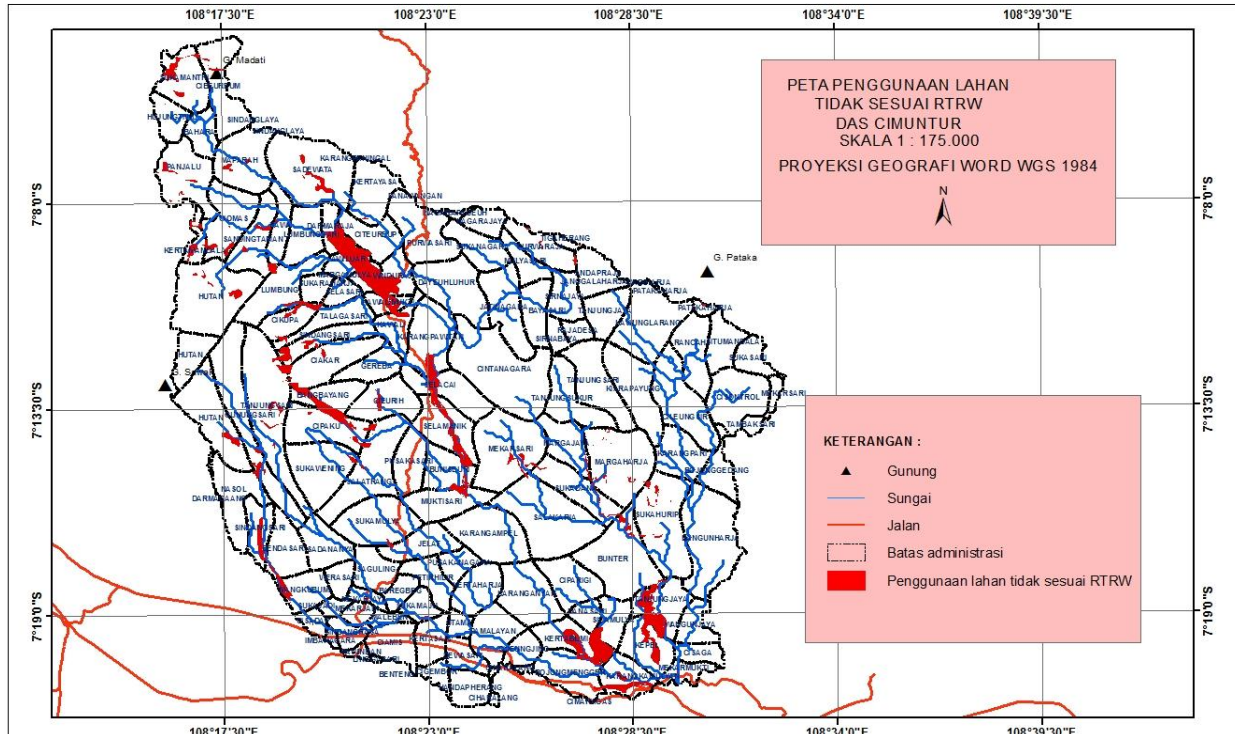
B. Penataan Kesesuaian Lahan untuk Penerapan Pola Agroforestri

Hasil kajian penataan kesesuaian lahan untuk penerapan pola agroforestri diperoleh 3 (tiga) kategori kesesuaian, yaitu sedang, sesuai dan sangat sesuai. Untuk luasan masing-masing kriteria kesesuaian dapat dilihat pada Tabel 7. Sedangkan hasil penataan kesesuaian lahan untuk penerapan pola agroforestri pada DAS Cimuntur secara spasial dapat dilihat pada Gambar 6.

Sekitar 32,03% dari luas tutupan lahan yang terdapat di DAS Cimuntur, masuk dalam kategori

Tabel 5. Kriteria dan indikator hidrologi
Table 5. Criteria and indicators for hydrological

Kriteria (Criteria)	Indikator (Indicator)	Deskripsi (Description)	Verifikasi (Verification)	Metode perhitungan (Calculation method)	Keterangan (Remarks)	Skor
Tata air (hydrology)	Koefisien regim sungai (KRS)	Perbandingan antara debit aliran sungai maksimum (Qmak) dan debit aliran sungai minimum (Qmin)	- Debit aliran sungai maksimum	Rasio perbandingan antara Qmak dan Qmin tahunan	- Baik (KRS<50)	- 1
			- Debit aliran sungai minimum		- Sedang (50<KRS<120)	- 2
					- Buruk (KRS>120)	- 3
	Debit spesifik	Perbandingan antara debit aliran sungai maksimum (Qmak) dan luas sub-DAS. Untuk menunjukkan potensi banjir (m ³ /s/100 km ²)	- Debit aliran sungai maksimum	Rasio perbandingan antara Qmak tahunan dan A	- Baik (Qmak/A<58)	- 1
			- Luas sub-DAS (100km ²)		- Sedang (58< Qmak/A <150)	- 2
					- Buruk (Qmak/A>150)	- 3
	Koefisien aliran permukaan (C)	Perbandingan antara jumlah hujan yang menjadi aliran permukaan terhadap total hujan yang jatuh pada wilayah DAS. Untuk menunjukkan potensi banjir	- Jumlah CH persatuan wilayah DAS	Rasio perbandingan antara jumlah aliran permukaan dan jumlah CH yang jatuh pada wilayah DAS	- Baik (c<0,5)	- 1
			- Jumlah aliran permukaan persatuan wilayah DAS		- Sedang (0,5<c<0,75)	- 2
					- Buruk (c>0,75)	- 3
Total Dissolve Solids(TDS)		Konsentrasi sedimen yang terlarut (mg/l)			- Baik (TDS<250)	- 1
					- Sedang (250<TSD<400)	- 2
					- Buruk (TSD>400)	- 3



Gambar 5. Peta sebaran spasial kelas penggunaan lahan di DAS Cimuntur yang menyimpang.
Figure 5. Spatial distribution of land use class in Cimuntur Waterhed that is unsuitable with its allocation.

Tabel 6. Penggunaan lahan tahun 2009 yang menyimpang RTRW Kabupaten
Table 6. Landuse in 2009 that is unsuitable with district land use plan

No.	Pola ruang RTRW kabupaten (Spatial plan)	Penggunaan lahan (Land use) (ha)				Total
		Pemukiman (Residential area)	Tegalan (Dry land)	Kebun campuran (Mixed garden)	Sawah (Paddy field)	
1	Hutan Konservasi (Conservation forest)			827,90		827,90
2	Lahan hijau resapan air (Catchment area)	196,71			590,45	787,16
3	Lahan hijau rawan gerakan tanah (Land movement prone area)	661,76			3.789,34	4.451,11
4	Hutan produksi terbatas (Limited production forest)			1.407,09		1.407,09
5	Hutan produksi (Production forest)	26,12	359,08	7.585,89		7.971,08
6	Kebun budidaya – tubuh air (Aquaculture)	740,87				740,87
Total		1.625,46	359,08	9.820,87	4.379,79	16.185,21

Sumber: Hasil analisis

Source: Analysis result

sesuai untuk diterapkan sistem agroforestri pada penggunaan lahannya, sedangkan yang masuk kategori sangat sesuai sebesar 2,38% dan masuk kategori sesuai sedang sekitar 65,14%. Kriteria penggunaan lahan yang masuk kategori sesuai dan sangat sesuai untuk diterapkan sistem agroforestri sebagian besar sekitar hulu DAS.

Hasil tumpang susun peta penggunaan lahan yang menyimpang dengan tata ruang dan peta kesesuaian lahan untuk penerapan pola agroforestri, menunjukkan penggunaan lahan yang menyimpang dengan tata ruang berada pada kelas kesesuaian pada kategori sesuai. Sehingga penerapan 3 (tiga) skenario pola agroforestri akan dilaksanakan pada penggunaan lahan yang masuk kategori sesuai.

Berdasarkan hasil analisis (Gambar 7), terdapat 9 (sembilan) penggunaan lahan yang sesuai untuk diterapkan pola agroforestri, yaitu: hutan lindung, hutan produksi, hutan produksi terbatas, kebun campuran, tegalan, pemukiman, tubuh air (rawa dan danau), sawah dan pemukiman. Hasil analisis menunjukan kebun campuran merupakan penggunaan lahan yang paling luas persentasenya dalam kategori sesuai untuk diterapkan sistem agroforestri.

C. Penilaian Penerapan Pola Agroforestri ditinjau Respon Hidrologi

1. Pengujian model hidrologi SWAT

Kalibrasi dan validasi model dilakukan terhadap debit air yang keluar di *outlet* pada periode bulanan, dengan cara membandingkan debit bulanan hasil observasi lapangan pada Stasiun Pengamat Arus Sungai (SPAS) dengan debit bulanan hasil prediksi model SWAT. Data yang digunakan untuk proses kalibrasi dan validasi model adalah data debit dari Sindangrasa. Proses kalibrasi menggunakan data bulan Januari – Juni tahun 2009, sedangkan proses validasi model menggunakan data bulan Juli – Desember 2009.

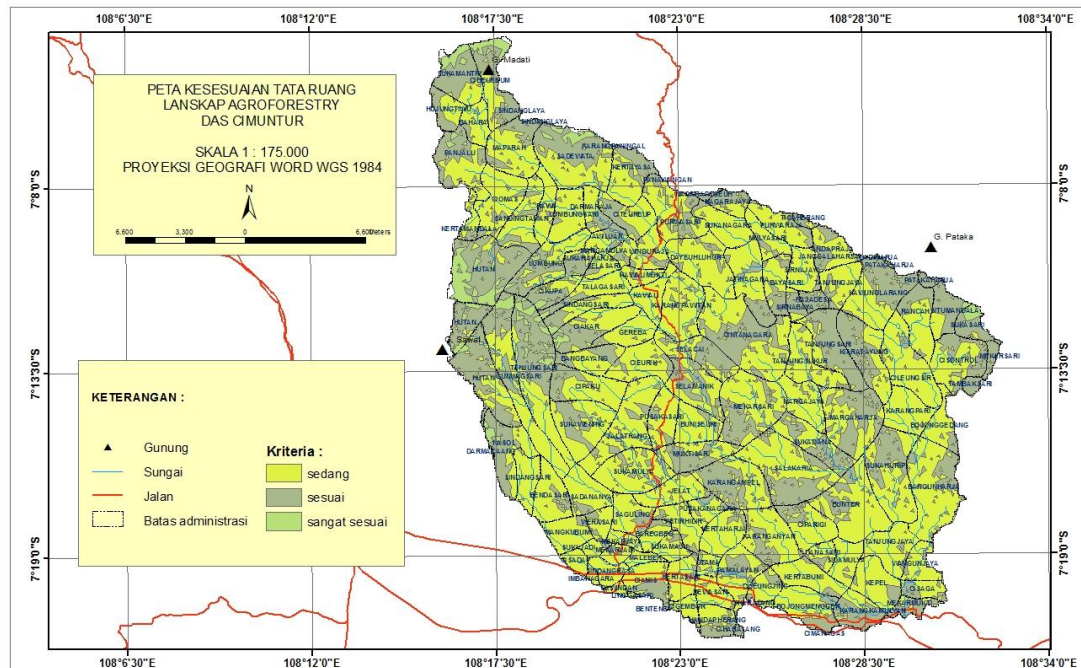
Nilai rata-rata debit bulanan hasil observasi dan hasil prediksi untuk kalibrasi model adalah 0,19 m³/dt dan 0,21 m³/dt, sedangkan hasil perhitungan untuk nilai D_v adalah -7,64%. Hasil perhitungan untuk koefisien *Nash-Sutcliffe* (E_{ns}) antara data debit bulanan observasi dan prediksi adalah 0,72. Sedangkan nilai rata-rata debit bulanan hasil observasi dan hasil prediksi untuk validasi model adalah 0,23 m³/dt dan 0,20 m³/dt, sedangkan hasil perhitungan untuk nilai D_v adalah -8,48%. Hasil perhitungan untuk koefisien *Nash-Sutcliffe* (E_{ns}) antara data debit bulanan observasi dan prediksi adalah 0,96. Grafik hubungan antara debit bulanan prediksi (nilai X) dan debit bulanan observasi (nilai Y) untuk kalibrasi disajikan dalam Gambar 8a dengan nilai R^2 adalah 0,79, sedangkan untuk validasi disajikan dalam Gambar 8b dengan nilai R^2 adalah 0,99.

Berdasarkan kriteria Santhi *et al.* (2001), hasil prediksi model SWAT dapat dikategorikan baik dalam memprediksi hidrologi DAS Cimuntur, karena mempunyai rata-rata debit hasil prediksi berada pada kisaran -15% sampai + 15% dari rata-rata debit hasil observasi, serta nilai (E_{ns}) $\geq 0,5$ dan $R^2 \geq 0,6$. Model SWAT dapat digunakan untuk memprediksi kondisi hidrologi DAS Cimuntur.

2. Respon hidrologi DAS Cimuntur

Hasil analisis model dengan menggunakan data iklim tahun 2010, terhadap indikator tata air Sub DAS Cimuntur dapat dilihat pada Tabel 8. Hasil analisis menunjukkan dari segi kuantitas hasil tata air menunjukkan kategori baik dan untuk segi kualitas menunjukkan kategori yang buruk.

Secara umum kondisi hidrologi pada DAS Cimuntur menunjukkan kategori sedang, dengan kuantitas dalam kategori baik dan kualitas dalam kategori buruk. Persoalan tata air untuk DAS Cimuntur, DAS Citanduy adalah kondisi kualitas tata air dengan kelarutan sidimen dalam kondisi buruk (TDS = 1.360,23 mg/l).



Gambar 6. Peta sebaran spasial kesesuaian penerapan agroforstri di DAS Cimuntur
Figure 6. Spatial distribution of land suitability for agroforestry in Cimuntur Watershed

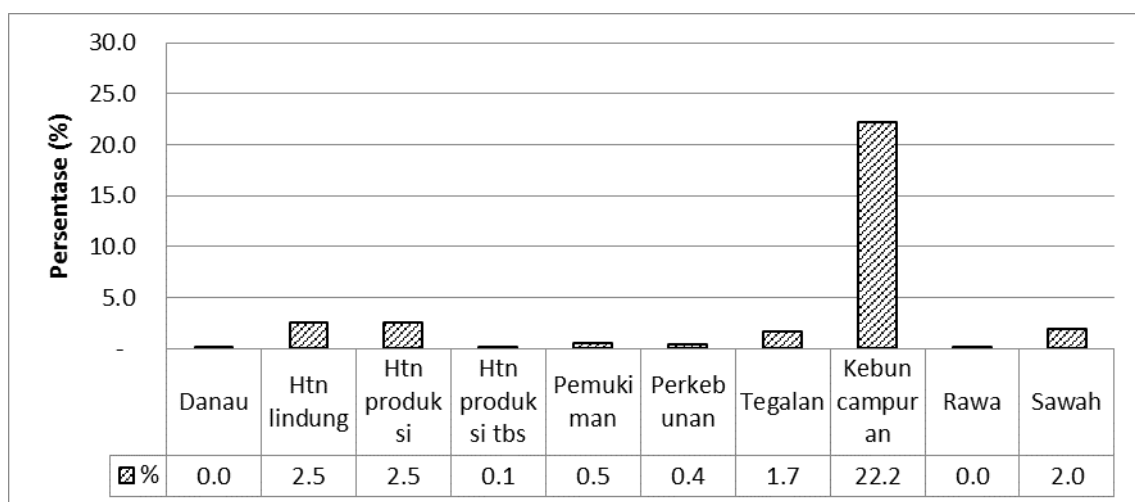
Tabel 7. Luasan masing-masing kategori kesesuaian penggunaan lahan sistem agroforestri DAS Cimuntur

Table 7. Area of each land use suitability category for agroforestry system in Cimuntur Watershed

No.	Kategori kesesuaian penggunaan lahan agroforestri (Category of land use suitability for agroforestry system)	Luas (Area) (ha)	Prsentase dari luas DAS (Percentage of area from total watershed area) (%)
1.	Sedang (<i>Moderate</i>)	40.244,52	65,14
2.	Sesuai (<i>Suitable</i>)	19.784,67	32,03
3.	Sangat sesuai (<i>Unsuitable</i>)	1.470,72	2,38

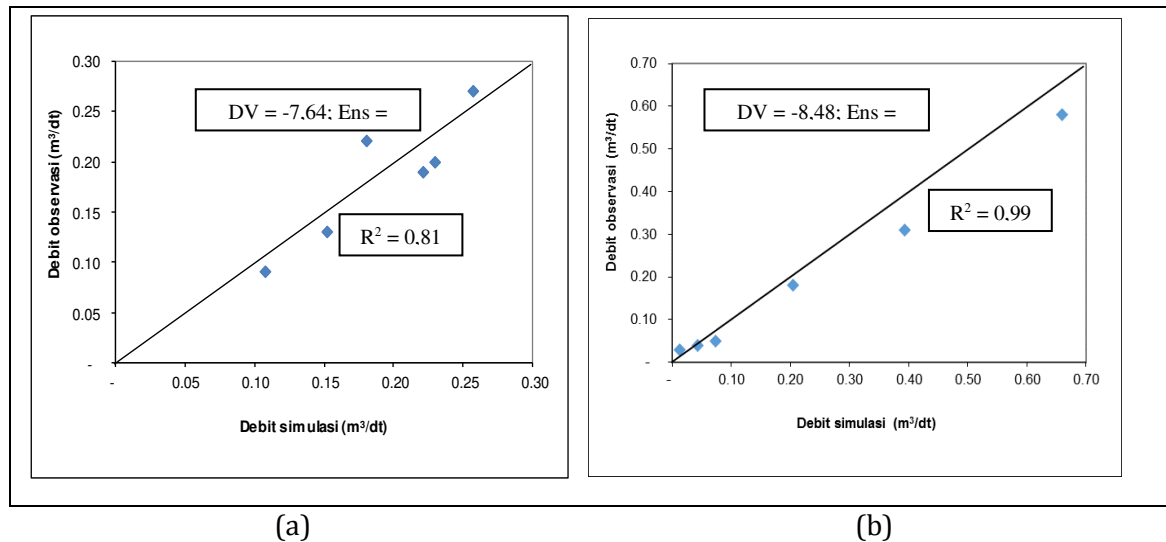
Sumber: Hasil analisis

Source: Analysis result



Gambar 7. Proporsi luas kelas penggunaan lahan yang sesuai untuk penerapan sistem agroforestri di DAS Cimuntur

Figure 7. Area proportion of land use class for agroforestry system application in Cimuntur Watershed



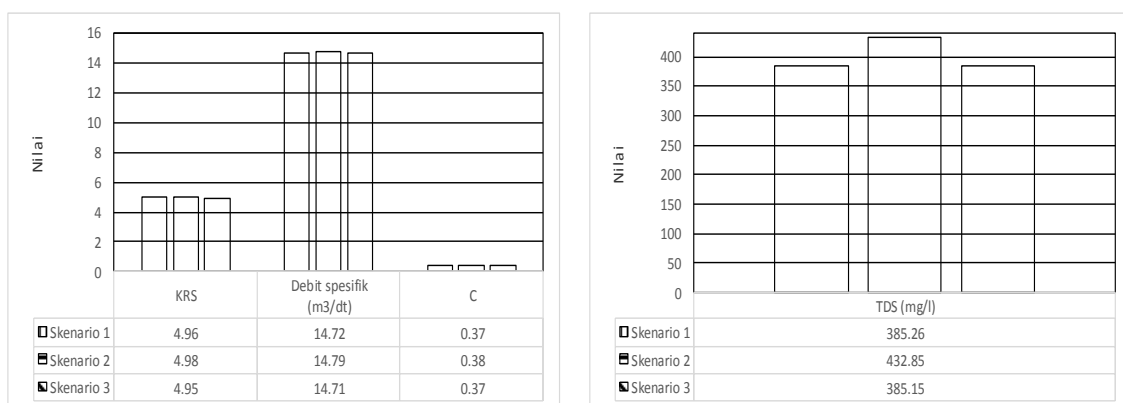
Gambar 8. Perbandingan debit bulanan prediksi hasil model dan debit bulanan observasi.
Figure 8. Comparison of monthly discharge prediction and observation.

Tabel 8. Hasil analisis model menggunakan indikator hasil tata air
Table 8. Model analysis results using indicators on hydrological performance

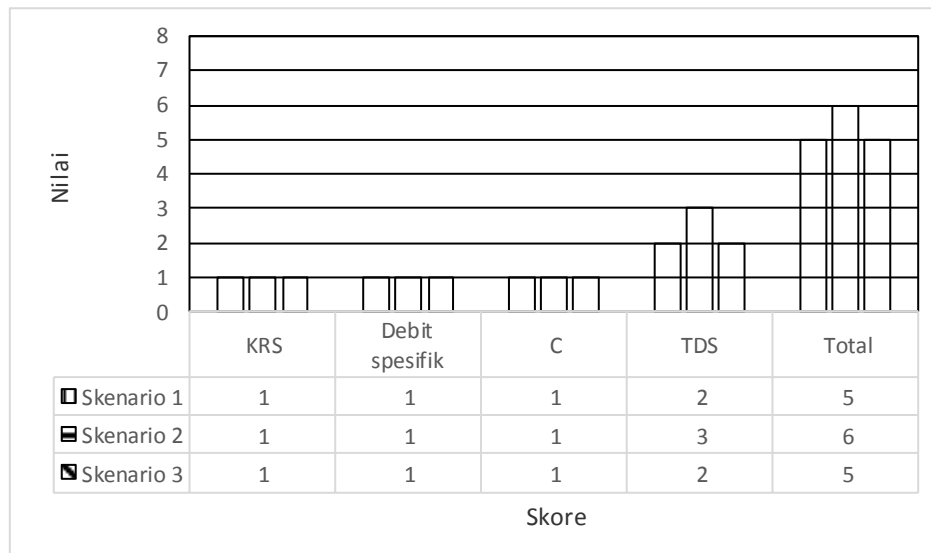
No.	Indikator (Indicator)	Nilai (Value)	Skor (Score)	Kategori (Category)
1	KRS (Koefisien Rejim Sungai)	14,34	1	Baik
2	Debit spesifik	17,71	1	Baik
3	C (Koefisien aliran permukaan)	0,36	1	Baik
4	TDS (mg/l)	1.360,23	3	Buruk
Total nilai			6	Sedang

Sumber: Hasil analisis

Source: Analysis result



Gambar 9. Hasil analisis model menggunakan indikator hidrologi pada beberapa skenario tata ruang penerapan pola agroforestri.
Figure 9. Model analysis on indicators of hydrological performance from scenarios of agroforestry application.



Gambar 10. Hasil analisis nilai skor pada beberapa skenario tata ruang penerapan pola agroforestri.
Figure 10. Model analysis on value of score performance from scenarios of agroforestry application.

Hasil analisis model dengan menggunakan data iklim tahun 2010, penerapan 3 (tiga) skenario pola agroforestri ditinjau dari indikator tata air dapat dilihat pada Gambar 9. Secara umum, dengan menerapkan pola agroforestri pada penggunaan lahan yang masuk kategori sesuai akan menurunkan nilai indikator tata air untuk nilai KRS, debit spesifik dan TDS. Nilai KRS yang semula berada di angka 14,34 akan turun pada kisaran 4,95 – 4,98, sedangkan nilai debit spesifik berada di kisaran 14,71 – 14,79 yang semula berada pada nilai 17,71. Nilai yang paling banyak mengalami penurunan adalah TDS yang tanpa penerapan pola agroforestri berada pada angka 1.360,23 mg/l menjadi berada pada kisaran 385,15 - 432,85 mg/l apabila pola agroforestri diterapkan. Penerapan pola agroforestri pada penggunaan lahan yang menyimpang tata ruang yang masuk kategori sesuai dapat memperbaiki respon hidrologi (segi kuantitas dan kualitas) DAS Cimuntur, karena mampu menurunkan indikator tata air (KRS, debit spesifik dan TDS), meskipun nilai C mengalami peningkatan sekitar 0,01 – 0,02. Hasil analisis beberapa penelitian menunjukkan bahwa penerapan pola agroforestri pada beberapa penggunaan lahan dapat memperbaiki respon hidrologi. Kajian Junaidi (2013) di DAS Cisadane menunjukkan bahwa penerapan pola agroforestri pada lahan tegalan mampu menaikkan debit aliran dasar sebesar 11,9 m³/dt dan debit aliran permukaan sebesar 4,02 m³/dt, serta mampu menurunkan konsentrasi sedimen 90,47 mg/l. Sementara itu, Yustika *et al.* (2012) menyebutkan bahwa penerapan agroforestri di lahan teh mampu menghambat aliran permukaan sebesar 53,70% - 47,24% pada DAS Ciliwung Hulu menggunakan data iklim tahun 2008, 2009 dan 2011.

Gambar 10. menunjukkan nilai total hasil skor indikator tata air untuk masing-masing skenario penerapan pola agroforestri, dengan skenario 1 dan 3 menghasilkan nilai sama terkecil (i.e. 5). Namun demikian, dibandingkan skenario 1, skenario 3 menghasilkan nilai yang lebih kecil untuk semua indikator. Oleh karena itu, skenario 3 merupakan skenario penerapan pola agroforestri yang menghasilkan respon hidrologi terbaik di DAS Cimuntur, karena mampu menurunkan KRS, debit spesifik, C dan TDS.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Hasil analisis kesesuaian agroforestri pada DAS Cimuntur, menunjukkan bahwa sekitar 32,03% dari luas DAS Cimuntur masuk dalam kategori sesuai, 2,38% masuk kategori sangat sesuai dan 65,14% termasuk kategori sesuai sedang. Hasil penilaian kondisi penggunaan lahan untuk tahun 2009 menunjukkan, sekitar 26,24% dari luas total DAS menyimpang dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Ciamis. Penggunaan lahan yang menyimpang ini termasuk dalam kategori kesesuaian sesuai untuk penerapan agroforestri.

Penerapan beberapa skenario pola agroforestri pada penggunaan lahan yang menyimpang dari fungsi tata ruang mampu mempertahankan fungsi lingkungan yang ditinjau dari respon hidrologi. Penerapan agroforestri mampu meningkatkan nilai KRS sebesar 65,3% - 65,8%, nilai debit spesifik sebesar 16,4% - 16,9%, dan nilai TDS sebesar 68,1% - 71,7%. Pola agroforestri yang menghasilkan respon hidrologi terbaik adalah pola dengan skenario tiga yaitu: pola agroforestri yang terdiri dari tanaman kayu-

kayuan (sengon), tanaman buah (rambutan), tanaman perkebunan (cengkih, kelapa, petai, pisang,), tanaman bawah tahunan (kapulaga dan pisang), dan tanaman bawah semusim (singkong). Hal ini dikarenakan pola agroforestri skenario 3, mampu menghasilkan nilai indikator (KRS, nilai debit spesifik, C dan TDS) lebih kecil dibandingkan pola yang lain.

B. Saran

Pola agroforestri bersifat lokal spesifik, sehingga perlu dikaji pola-pola agroforestri yang paling cocok untuk diterapkan pada suatu penggunaan lahan. Dengan pertimbangan itu, maka kemampuan agroforestri untuk mempertahankan fungsi lingkungan dapat berjalan optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Agroforestri yang telah memberikan dukungan dana sehingga terlaksananya penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Tim sosial ekonomi dan kelembagaan atas kerjasama selama penelitian sehingga dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, T., Nabi, G., Boota, M. W., Hussain, F., Faisal, M., Ahsan, H., ... Lahore, T. (2015). Impacts of Landuse Changes on Runoff Generation in Simly, Lahore 27(4), 3185-3191.
- Arifin, H. S. (2009). *Analisis lanskap agroforestri: konsep, metode, dan pengelolaan agroforestri skala lanskap dengan studi kasus Indonesia, Filipina, Laos, Thailand, dan Vietnam*. Bogor: IPB Press.
- Arnold, J., Allen, P., Volk, M., Williams, J., & Bosch, D. (2010). Assessment of different representations of spatial variability on SWAT model performance. *Transactions of the ASABE*, 53(5), 1433-1443.
- Atangana, A., Khasa, D., Chang, S., & Degrande, A. (2014a). The benefits and services of agroforestry systems *Tropical Agroforestry* (pp. 151-240): Springer.
- Atangana, A., Khasa, D., Chang, S., & Degrande, A. (2014b). Definitions and classification of agroforestry systems *Tropical Agroforestry* (pp. 35-47): Springer.
- Bahrin, A. (2012). Kajian ekofisiologi tanaman semusim penyusun agroforestri pada beberapa zona agroklimat di DAS Ciliwung Hulu. (Disertasi), Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Bajocco, S., De Angelis, A., Perini, L., Ferrara, A., & Salvati, L. (2012). The impact of Land Use/Land Cover Changes on land degradation dynamics: A Mediterranean case study. *Environmental Management*, 49(5), 980-989.
- Chu, H. J., Liu, C. Y., & Wang, C. K. (2013). Identifying the relationships between water quality and land cover changes in the tseng-wen reservoir watershed of Taiwan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(2), 478-489.
- Douglas-Mankin, K., Srinivasan, R., & Arnold, J. (2010). Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model: Current developments and applications. *Transactions of the ASABE*, 53(5), 1423-1431.
- Emilda, A. (2010). Dampak Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Respon Hidrologi DAS Cisdane Hulu. (Tesis). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Junaidi, E. (2013). Peranan penerapan agroforestri terhadap hasil air DAS Cisdane. *Jurnal Penelitian Agroforestry*, 1(1), 41-53.
- Junaidi, E. (2009). *Kajian Berbagai Alternatif Perencanaan Pengelolaan DAS Cisdane Menggunakan Model SWAT*. (Tesis). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Kehutanan. (2009). *Penetapan Daerah Aliran Sungai (DAS) Prioritas Dalam Rangka Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) Tahun 2010-2014*. (SK. 328/Menhut-II/2009). Republik Indonesia: Kementerian Kehutanan.
- Mathevet, T., Michel, C., Andréassian, V., & Perrin, C. (2008). A bounded version of the Nash-Sutcliffe criterion for better model assessment on large sets of basins, 307, 211-219.
- Mahmoud, S. H., & Alazba, A. A. (2015). Hydrological response to land cover changes and human activities in arid regions using a geographic information system and remote sensing. *PLoS ONE*, 10(4), 1-20.
- Olivera, F., Valenzuela, M., Srinivasan, R., Choi, J., Cho, H., Koka, S., & Agrawal, A. (2006). ARCGIS-SWAT: A geodata model and GIS interface for SWAT1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 42(2), 295-309.
- Paimin, Sukresno, & Purwanto. (2006). *Sidik cepat degradasi sub Daerah Aliran Sungai*. Bogor: Puslit Hutan dan Konservasi Alam, Badan Litbang Kehutanan.
- Ragosta, G., Evensen, C., Atwill, E. R., Walker, M., Ticktin, T., Asquith, A., & Tate, K. W. (2010). Causal connections between water quality and land use in a rural tropical island watershed: Rural tropical island watershed analysis. *EcoHealth*, 7(1), 105-113. <https://doi.org/10.1007/s10393-010-0299-9>
- Santhi, C., Arnold, J. G., Williams, J. R., Dugas, W. A., Srinivasan, R., & Hauck, L. M. (2001). Validation of the swat model on a large RWER basin with point and nonpoint sources1: Wiley Online Library.
- Sanudin, (2006). Analisis dan Strategi Pemanfaatan Ruang di Kabupaten Ciamis, Jawa Barat. (Tesis). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Senaviratne, A., Udawatta, R., Baffaut, C., Anderson, S., Jose, S., Poppy, L., . . . Soolanayakanahally, R. (2013). *Apex simulation: environmental benefits of agroforestry buffers on corn-soybean watersheds [Conference poster]*. Paper presented at the Proceedings of the 13th North American

- Agroforestry Conference, June 19-21, 2013, Charlottetown, Prince Edward Island, Canada.
- Smith, J., Pearce, B. D., & Wolfe, M. S. (2013). Reconciling productivity with protection of the environment: Is temperate agroforestry the answer? *Renewable Agriculture and Food Systems*, 28(01), 80-92.
- Suradiputra, I. N. N., Sartono, D., & Ilman, M. (2005). Krisis Air di Inonesia. In A. W. M. M. S. Sarwintyas Prahastuti (Ed.), (pp. 19-32). Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Susetyaningsih, A. (2012). Pengaturan Penggunaan Lahan Di Daerah Hulu DAS Cimanuk Sebagai Upaya Optimalisasi Pemanfaatan Sumberdaya Air. *Jurnal Konstruksi*, 10(1), 1-8.
- Udawatta, R., Jose, S., & Garrett, H. (2015). *A Paired watershed Evaluation of Agroforestry effects on Water Quality on a Corn/Soybean Rotation*. Paper presented at the EGU General Assembly Conference Abstracts.
- Wibawa, W. D. (2010). Disain Pengelolaan Lahan Berkelanjutan berbasis Tanaman Hortikultura Tahunan di DAS Ciliwung Hulu. (Disertasi). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Wood, A., & Mayer, J. (2006). Sustainable Land Management: Challenges, Opportunities, And Trade-Offs: Washington, DC: World Bank.
- Yustika, R., Tarigan, S., Hidayat, Y., & Sudadi, U. (2012). Simulasi Manajemen Lahan di DAS Ciliwung Hulu Menggunakan Model SWAT. *Informatika Pertanian*, 21(2), 71-79.